
FORMACIÓN SUPERIOR EN SIG ¹

Fernando Wolfango Macedo

Universidade de Trás os Montes y
Alto Douro-Portugal
e-mail: wmacedo@utad.pt

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) integran varios dominios científicos y tecnológicos de extrema complejidad y creciente aplicabilidad, desarrollados en gran medida en las últimas tres décadas, denominadas como tecnologías digitales de la Computación, de las Telecomunicaciones y la Óptica-electrónica.

El desarrollo de la Computación Digital se produce particularmente a través de las áreas de Matemática Aplicada, Computación Numérica, Estadística y Gráfica, Análisis Espectral y Procesamiento de Imágenes. Otro producto importante de la computación digital fue la creación de Sistemas Gestores de Base de Datos Relacionales que en combinación con la Computación Numérica, Estadística y Gráfica constituyen los Sistemas de Información Geográfica.

El avance de las Telecomunicaciones Digitales fue un factor importante en el desarrollo de la tecnología de los satélites y se benefició, a su vez, de esta misma tecnología (Satélites de Telecomunicación). Los satélites de telecomunicación permitieron el establecimiento de sistemas de Geodesia Por Satélites (GPS), principalmente del sistema NAVSTAR (USA) y del Sistema GLONASS (URSS). Por otro lado, el desarrollo de los satélites de telecomunicación y de las tecnologías óptica-electrónicas permitieron el desarrollo de la Teledetección, a través de los sensores remotos instalados en Satélites de Observación de la Tierra.

La integración de los sistemas de computación y de telecomunicaciones digitales permitieron, a su vez, el desarrollo de Redes Informáticas, locales o de grande escala, que soportan grandes sistemas de comunicación de datos y sistemas de base de datos distribuidos, del cual el *World Wide Web*

(WWW) es el ejemplo paradigmático, de creciente importancia y utilización. Finalmente, cada vez más la integración de Sistemas de Información Geográfica, de Sistemas de Teledetección, de Sistemas de GPS y de la WWW, permitirán a corto plazo la creación y la actualización de Sistemas de Información Geográfica en tiempo real o casi real.

Las áreas científicas y tecnológicas, de complejidad y sofisticación creciente, arriba destacadas, así como las interrelaciones y posibilidades de integración, constituyen tópicos indispensables en la formación superior en SIG. Esa formación no se agota con el aprendizaje del estado actual de los conocimientos relativos a esos tópicos. Deberá también promover en los formandos la capacidad de reconocer las más importantes tendencias de desarrollo de las tecnologías y áreas científicas involucradas y la capacidad de adaptarse a los múltiples condicionantes de naturaleza profesional, logística, institucional y legal que rodearán a su futura actividad. Otra capacidad importante a desarrollar, a través de la formación superior en SIG, será el auto-didactismo y la conciencia de la necesidad de formación continuada, en función del ritmo acelerado de las transformaciones científicas y tecnológicas que caracterizan el mundo moderno y la evolución de las necesidades peculiares del desarrollo socioeconómico de las regiones o países en que transcurra su actividad.

No podemos olvidarnos que, la formación superior en SIG deberá preparar técnicos habilitados para el trabajo en equipos multidisciplinarios, cuya composición variará de acuerdo con las necesidades de las diversas aplicaciones y estudios a desarrollar.

Los técnicos con formación superior en SIG deberán tener capacidad de liderazgo de esos equipos y ser capaces de preparar operadores que realizarán las diversas tareas necesarias a la creación y mantenimiento de los SIG. El acervo de tecnologías encima

¹ Traducido del Portugués por Carmen Lucía Monteiro.

enumeradas y el perfil final deseable para los especialistas en SIG, que anteriormente describimos, determinan o condicionan los objetivos generales de los programas y currículos de formación superior.

REQUISITOS PARA FORMACIÓN SUPERIOR EN SIG

a.- Requisitos de conocimientos en informática

En Portugal, la utilización de ordenadores empieza, generalmente, durante la enseñanza secundaria. Los alumnos de la enseñanza superior poseen actualmente familiaridad en el uso de ordenadores y conocimientos de informática muy superiores a los poseídos por los alumnos de la década pasada. Además, se torna más fácil la iniciación en SIG, porque existe mucho 'software' adaptado al sistema operativo Windows. La mayoría de los formandos en SIG, en la enseñanza superior, ya trabajaron con hojas de cálculo y con procesadores de texto. Algunos ya trabajaron con sistemas gestores de bases de datos relacionales y otros poseen el mismo conocimiento de programación en lenguajes avanzados. La utilización de herramientas de CAD por alumnos de cursos de ingeniería es actualmente una realidad; sin embargo, en la mayoría de los casos, a un nivel básico, utilizando el PAINT, y menos frecuentemente programas más sofisticados (MICROSTATION, AUTOCAD,...).

b.- Requisitos de Conocimientos en Geografía, Topografía y Cartografía

Los alumnos que ingresan en la enseñanza superior en Portugal presentan graves lagunas de conocimientos en este grupo de disciplinas científicas. Deberá, pues, darse la formación en Geografía, Topografía y Cartografía, antes de la iniciación en SIG en los años preliminares de los cursos de licenciatura y en los cursos de bachillerato que tengan que ver con las Ciencias de la Tierra; esta tecnología podrá ser aplicada a varias disciplinas subsecuentes de esos cursos. Los conocimientos básicos de aquellas tres disciplinas no pueden ser despreciados. No podemos concebir siquiera la idea de la iniciación superior en SIG para quien no posee conocimientos adecuados en Geografía, Cartografía y Topografía.

El levantamiento de datos de campo era hasta poco tiempo un proceso complejo y moroso. La

geodesia por satélite (GPS), a través de la utilización de los satélites de la constelación NAVSTAR, vino a revolucionar la Topografía y en general la georeferenciación de datos espaciales necesaria en la Cartografía Temática. Hoy es posible recoger datos geográficos y topográficos con gran rigor, de un modo fácil y rápido. Todos los currícula de formación superior en SIG, en el ámbito mundial, dan gran relevancia a esa nueva tecnología (GPS).

Debemos aún destacar que la adopción generalizada del sistema de georeferenciación UTM vino a facilitar la integración de información geográfica relativa a varias regiones del globo. La gran mayoría de los paquetes de 'software' para SIG es producida en los Estados Unidos y en Canadá, omitiendo a veces los 'datum' relativos a los sistemas de proyección cartográfica adoptados en Portugal, o los parámetros de transformación necesarios a la correcta georeferenciación en Portugal Continental. Sin embargo, no son generalmente olvidados los parámetros para el Archipiélago de Açores, donde existe una base militar americana, integrada a la OTAN.

MODALIDADES DE FORMACIÓN

La formación superior en la generalidad de áreas científicas deberá ser multidisciplinar, admitiendo diferentes especializaciones y diferenciando diversos niveles, según los objetivos de la formación y los perfiles de los formandos. Así, en la formación superior en SIG se encuentran grandes diferencias en cuanto a los objetivos y perfiles de los formandos, que podremos agrupar de la siguiente manera:

- Gestores de SIG. Profesionales indirectamente involucrados en las técnicas de SIG.
- Usuarios de SIG. Usan un SIG de modo operacional. Usuarios que generen bases de datos espaciales y dispositivos cartográficos, pero que no aplican técnicas de análisis espacial para investigación o resolución de problemas.
- Técnicos de SIG. Técnicos que disponen de conocimientos necesarios para poner en funcionamiento un sistema integrado de soluciones SIG. No necesitan tener un conocimiento muy profundo de SIG, dedicándose a la parte informática del sistema, y eventualmente a una aplicación específica.
- Analistas de SIG. Son usuarios de SIG que aplican técnicas de análisis espacial para investigación o resolución de los problemas

más corrientes en la implantación y manutención de los SIG.

- Investigadores de SIG. Investigadores que se concentran en el desarrollo de 'software' para SIG y para análisis de información geográfica.
- Formadores de SIG. Son incluidos en este grupo los formadores de los varios grupos de utilizadores de SIG. Podrán ser por eso subdivididos a tenor de las varias categorías de formandos en SIG, antes descritas.

La naturaleza multidisciplinar, la diversidad de tecnologías utilizadas y la variedad de aplicaciones de los SIG, exigen que la formación y entrenamiento en ese complejo dominio presente múltiples modalidades, desde el simple entrenamiento en el uso de software o de equipos, hasta científicos que realizan investigación fundamental en el ámbito de los postgrado, las formas apropiadas de transmisión de conocimientos para diversos niveles son propias: 'workshops', seminarios; cursos intensivos de corta duración; cursos de formación a distancia, etc.

Visto que la formación en SIG al nivel de enseñanza superior es reciente, las empresas han optado muchas veces por la formación de sus cuadros técnicos en cursos intensivos de corta duración, siendo la mayor parte impartidos por los distribuidores de 'software' SIG. Con la creciente búsqueda de estos cursos, también las universidades ya están realizando cursos de este tipo, con la ventaja de ofrecer soluciones más completas, que no se resumen a la explotación de un único paquete de 'software', sino que involucran toda una panoplia de paquetes de 'software' e integran conocimientos multidisciplinarios básicos, bien en sólo un curso de extensión de duración media, bien en una secuencia de módulos, eventualmente optativos. Podremos distinguir de acuerdo su contenido los siguientes:

- 'Software' para Computación Gráfica (MICROSTATION, AUTOCAD, ...)
- 'Software' para Cartografía Digital
- Posicionamiento geodésico por satélites (GPS)
- Digitalización manual, semiautomática y automática de mapas; rasterización de mapas ('scanners'); digitalización de niveles de información contenidos en mapas rasterizados; rasterización de imágenes analógicas (fotos y películas)
- Procesamiento de imágenes digitales
- Análisis ambiental a través de SIG
- SIG para gestión de sistemas urbanos
- Gestión de bases de datos relacionales
- Explotación de paquetes de 'software' para SIG (ARC/INFO, MGE, GEOMEDIA,

ARCVIEW, MAPINFO) para diversas aplicaciones.

Por otro lado, en estas nuevas tecnologías se ofrecen cursos de postgrado y de master del tipo *part time*, especialmente dedicados al personal técnico de empresas. Esos cursos son especialmente importantes para aquellos que no obtuvieron formación superior especializada en SIG a lo largo de sus carreras de licenciatura. Algunas licenciaturas actuales ya incluyen en sus currícula algunas disciplinas relacionadas con esa formación.

Cada institución organizadora de cursos SIG tiene normalmente disponible un sistema integrado, constituido por un único tipo de 'hardware' y de 'software'. Esto es, en el caso de que una institución posea un sistema integrado de INTERGRAPH, es en este sistema particular que la formación incide y no en un sistema ESRI o en otro. Ese hecho ya ha producido críticas, pues ningún sistema posee las mejores herramientas para todas las situaciones.

Los cursos modulares de corta duración son una opción válida para quien no obtuvo formación de SIG integrada en una licenciatura o en cursos de postgrado en el ámbito de master. Como ejemplo de cursos intensivos de corta duración podemos referir los organizados por las Naciones Unidas (*UN Committee on the Peaceful Uses of Outer Space*), para formación de formadores en Detección Remota (UN, 1996). La estructura modular de esos cursos es descrita en el cuadro I.

La formación en SIG es hoy una realidad en múltiples licenciaturas de naturaleza científica y también humanística: Ingeniería Geográfica, Cartografía, Ecología, Ingeniería Ambiental, Arquitectura Paisajística, Ingeniería de Montes y Agrícola, Ingeniería Civil, Ingeniería Electrotécnica, Ingeniería Mecánica, Matemática Aplicada, Física, Economía y Sociología, etc.

El gran espectro de las tecnologías y de las aplicaciones englobadas en la designación de SIG implica una formación por módulos, seleccionados de acuerdo con los objetivos y perfiles de los alumnos. Entre los muchos ejemplos de esa modalidad de formación que podríamos recoger y citarlas, referiremos lo de la Universidad Técnica de Budapest, cuyos módulos son los descritos en lo cuadro II.

Como ejemplo de curso de formación a distancia, podemos citar el curso *online* coordinado por A. Meneguette y mantenido en Internet por el De-

partamento de Geografía de la FCT/UNESP, Brasil (Meneguette, 1999).

El entrenamiento de operadores para digitalización de datos requiere apenas un conocimiento básico sobre los componentes del sistema. Las tareas de análisis y interpretación de resultados requieren, por lo contrario, un conocimiento detallado sobre las diversas fuentes posibles de datos espaciales y respectivas estructuras y formas de registro, así como sobre los algoritmos para su tratamiento. Una especialización técnica superior exige conocimientos teóricos y capacidad de organizar la recogida y el análisis de datos, así como la capacidad de adaptación de los sistemas disponibles a la especificidad de las aplicaciones más corrientes; también requiere el conocimiento de herramientas y de lenguajes de alto nivel, para desarrollo de programas computacionales, y aún con familiaridad en los problemas de organización institucional, principal-

mente los relativos a la gestión administrativa y financiera.

No es posible proveer a todas las necesidades y modalidades de formación antes enumeradas, a través de un único programa integrado, visto que la naturaleza de los SIG es análoga a de la Estadística, pudiendo ser enseñadas con un propósito puramente teórica o, por lo contrario, esencialmente aplicada en áreas específicas que interesan a determinados grupos de usuarios. Los programas de formación superior en SIG deben, por lo tanto, involucrar equipos pluridisciplinarios y diversos departamentos, lo que torna difícil su integración, pues surgirán siempre tensiones y conflictos de intereses, de objetivos, o de 'status', habituales en todas las instituciones de naturaleza científica o profesional (Barry y Butcher, 1998).

La popularidad de ciertos paquetes de 'software' para SIG, o la baja progresiva de su coste y

CUADRO I

Tópicos	Duración (días)	Contenido
Principios Fundamentales de Detección Remota	4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Radiación electromagnética. ▪ Propiedades reflectivas de la materia. ▪ Sensores e imágenes digitales. ▪ Georeferenciación. ▪ Satélites de observación de la Tierra.
Interpretación de Imágenes	4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Detección remota / cartografía de uso del suelo y monitoreo ambiental. ▪ Detección remota para estudios de Geología. ▪ Interpretación visual.
Análisis de Imágenes Digitales y SIG	6	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis de imágenes digitales (teoría). ▪ Filtración de imágenes digitales (teoría). ▪ Recepción y tratamiento de datos radiométricos. ▪ SIG (teoría). ▪ Procesamiento de imágenes digitales. ▪ Aplicaciones de SIG. ▪ Técnicas multimedia. ▪ Adquisición de datos: topografía y GPS.
Imágenes RADAR	3	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aplicaciones de imágenes RADAR
Prácticas en Centro de Detección Remota	4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Archivo de imágenes. ▪ Procesamiento de imágenes. ▪ Correcciones radiométricas y geométricas. ▪ Modelos digitales de terreno. ▪ Ortoimágenes. ▪ Cartografía digital. ▪ Selección de imágenes. ▪ Nuevos satélites de observación de la Tierra.

CUADRO II

Módulos	Tópicos
Hardware	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ordenadores personales y 'Workstations'. ▪ Periféricos para entrada/salida de datos. ▪ Redes locales. ▪ Arquitectura de sistemas.
Software	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistemas operativos. ▪ Sistemas de gestión de bases de datos. ▪ Software para gestión de redes. ▪ Interfaces gráficas.
Computación Gráfica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ -
Informática Espacial Básica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelación espacial. ▪ Tipos y formatos de datos. ▪ Almacenamiento de modelos gráficos. ▪ Obtención de datos temáticos. ▪ Delineamiento de bases de datos. ▪ Modelos digitales del terreno. ▪ Software para SIG y respectivas funcionalidades. ▪ Integración de software para SIG con software científico.
Sistemas de Información Geográfica y sus Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Implantación de SIG. ▪ Sistemas catastrales. ▪ Sistemas de gestión de redes. ▪ Sistemas de gestión urbana. ▪ Sistemas para planeamiento regional y monitoreo ambiental. ▪ Sistemas CAD tridimensionales. ▪ Sistemas para gestión de explotaciones mineras y geológicas. ▪ Análisis espacial. ▪ SIG para soporte a la decisión. ▪ Normas para datos espaciales. ▪ Archivos de datos espaciales en el ámbito nacional y global.
Obtención de Datos Espaciales Digitales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistemas de georeferenciación local y global y sistemas de proyección. ▪ GPS. ▪ Topografía automatizada. ▪ Fotogrametría y detección remota. ▪ Métodos básicos en fotogrametría digital y en detección remota. ▪ Cartografía usual y su digitalización. ▪ Teoría de errores y su aplicación a la información espacial. ▪ Archivos de datos espaciales.

la aparente facilidad de su utilización han promovido el fraccionamiento de actividades y de iniciativas de formación dentro de las instituciones de enseñanza superior. Estas desarrollan actividades de enseñanza y de investigación, que involucran los SIG, aunque sin cooperación institucional o organización de grupos con intereses científicos comunes.

TESTIMONIOS DE FORMADORES Y DE FORMANDOS

Los testimonios recogidos de colegas, en relación a sus experiencias personales como

formandos/formadores es preciosa, dado que relatan casos vividos sobre enseñanza/aprendizaje de SIG, revelando errores y omisiones, que podrán servir de lección. A continuación referimos algunos cortos testimonios, a título de ejemplo:

- "Para que la formación en SIG sea efectiva y eficiente es necesario que los formadores conozcan profundamente la teoría inherente a los SIG, y que hayan creado y utilizado diversos sistemas; sólo así serán capaces de presentar el contenido de forma clara y interesante, y aclarar convenientemente todas las dudas presentadas por los alumnos. La formación en SIG deberá ser principalmente práctica (40% teoría; 60% práctica) y debe ser acompañada por ejemplos reales y casos de estudio; deberá ser realizada una introducción teórica general que cubra cerca del 20% de la teoría de los SIG, seguida de un programa práctico acompañado de la teoría pertinente a cada tema". (Aranha, 1999).
- "Los aspectos más difíciles de mi aprendizaje inicial en SIG fueron en computación gráfica y utilización del 'software' para CAD, que son, generalmente, muy sofisticados y están pensados sobre todo para el dibujo técnico y 'aprovechados' para el dibujo cartográfico. Existen problemas, a veces difíciles, de compatibilización de 'software' de varios fabricantes, que obligan a frecuentes importaciones/exportaciones de ficheros, con vistas a compatibilizar formatos gráficos, lo que ocasiona pérdidas considerables de tiempo. Por ejemplo, en la exportación de curvas de nivel dibujadas con lo programa MICROSTATION (CAD) para el programa IDRISI (SIG de tipo 'ráster') es necesario ejecutar un elevado número de operaciones (exportar cota a cota en formato DXF; importar el fichero DXF; convertir el formato vectorial en 'ráster',...). En la exportación de las curvas de nivel en formato DXF, si no se toman cuidado en alterar el fichero de conversión del programa MICROSTATION, una curva de cierto nivel y color podrá ser alterada para otro nivel y color completamente diferente. La resolución de éstas y de otras dificultades no son suficientemente explicadas por los manuales y instrucciones *help* que acompañan los programas. Otro aspecto importante se refiere a la duración de los cursos de formación en SIG, que es, en general, insuficiente, debido a la diversidad y complejidad de las tecnologías involucradas". (Castro, 1999).

DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

La definición de objetivos para un programa de formación superior en SIG constituye una ardua tarea, debido a la diversidad de factores que deben ser tomados en consideración y debidamente ponderados, entre los cuales podremos enumerar los siguientes:

- *Perfil científico, técnico y profesional de los candidatos a la formación.* Generalmente, no existe homogeneidad en el grupo de candidatos, lo que dificulta extremadamente la definición de objetivos comunes para el grupo, y la consecuente adecuación de los currícula a las capacidades y necesidades individuales de los alumnos. Éste es un problema general que afecta frecuentemente a los programas de formación científica y técnica y dificulta la definición de los correspondientes currícula, debiendo, por tanto, tener cuidado en la previa caracterización de los grupos de cada curso. Pudiendo, para tal efecto usar los grupos definidos en el epígrafe 2.
- *Duración permisible para el curso de formación.* Generalmente, tantos los formadores como los alumnos consideran siempre escaso el tiempo disponible, debiendo existir un equilibrio entre la duración del curso, el conjunto de objetivos predefinidos y la extensión de los currícula.
- *Recursos disponibles (equipos ; materiales didácticos; perfil y cualidad de los formadores; condiciones logísticas).* Estos recursos son generalmente escasos u obsoletos, debido al rápido desarrollo tecnológico de los equipos y la busca creciente de cursos de formación superior en SIG. Muchas veces existe un desequilibrio en la dedicación de recursos, entre enseñanza y investigación, en las instituciones de enseñanza superior que proporcionan ese tipo de formación, lo que agrava esa escasez; esos recursos abundan globalmente en las instituciones, pero están distribuidos por varios departamentos que no colaboran del modo más armonioso e integrado.
- *Aplicaciones o proyectos a que se dedicarán probablemente los formandos, tras*

la conclusión del curso. Este aspecto es especialmente relevante en cursos de formación destinados a las tres primeras categorías de formandos discriminadas en el epígrafe 2: 'Gestores de SIG', 'Usuarios de SIG' y 'Técnicos de SIG'. Entre las aplicaciones genéricas más importantes de los SIG figuran el Análisis de Recursos Naturales, el Planeamiento Regional y Urbano y el Monitoreo Ambiental, por lo que la formación superior en SIG deberá considerar aplicaciones de esos tipos como casos de estudio preferenciales en la parte práctica de los programas de formación o en la selección de prácticas para los formandos.

La ponderación de los factores encima enumerados conducirá en cada caso particular a una definición sensata y correcta de objetivos, que no sea demasiado ambiciosa y que no defraude las expectativas de los formandos. Convendrá en cualquier caso ser claro y creíble en la definición y divulgación de los objetivos, mucho antes del inicio de los cursos, e intentar mantener esos objetivos y cumplir escrupulosamente los consecuentes currícula.

ANÁLISIS COMPARADO DE CURRÍCULA

El *NCGIA –National Center Geographic Information Analysis*—es un consorcio de Universidades de los Estados Unidos (Universidad de California, en Sta. Bárbara; Universidad Estatal de Nova Iorque, en Búfalo; Universidad del Maine), cuyo objetivo es la investigación en el área de los SIG y el desarrollo de las tecnologías que los integran. Tienen desarrollado un currículum de formación superior en SIG y han elaborado materiales didácticos destinados a su enseñanza. La estructura de esos currícula es presentada en el cuadro III (NCGIA, 1999).

La ISPRS promueve, a través de los grupos de trabajo de su Comisión VI (Education and Communications), la educación y entrenamiento en los dominios de la Fotogrametría, Detección Remota y SIG, y en dominios afines; desarrolla la enseñanza y entrenamiento en Ciencias de la Computación; promueve la organización de cursos y la preparación de materiales didácticos; desarrolla y divulga normas en colaboración con organizaciones internacionales como la ISO. Se presentan en lo cuadro IV los objetivos de los diversos grupos de trabajo de la Comisión VI de la ISPRS (ISPRS Commission VI, 1996).

ENCUESTA A ASOCIACIONES PROFESIONALES Y USUARIOS

En el ámbito del proyecto Telesic, dentro del programa ALFA, financiado por la Comisión Europea y en el que participan países europeos y de la América Latina, fue realizado en 1998 una encuesta en los países participantes (Francia, España, Portugal, Argentina, Chile, Perú, Venezuela y México) para el conocimiento relativo del estado de enseñanza y de la utilización general de los SIG en esos países. Los datos de la encuesta relativos a Portugal, y que corresponden a 20 contestaciones, entre empresas públicas y privadas (2), entes locales (7), organizaciones gubernamentales (9) y universidades (2), revelan los siguientes aspectos.

Grado de formación de técnicos en SIG:

1. Licenciados (111)
2. Enseñanza media (51)
3. Autodidactas (33)
4. Doctores (11)
5. Masters (1)

Institución de formación:

6. Empresa del sector (56%)
7. Formación autodidacta (23 %)
8. Universidad (13 %)
9. Instituto/Escuela de Formación Profesional (8 %)

Principales lagunas en la formación del personal técnico:

10. Experiencia en aplicaciones SIG
11. Experiencia con bases de datos relacionales
12. Detección remota (procesamiento de imágenes)
13. Cartografía automática
14. Informática (configuración de redes y de hardware)

Principales necesidades de formación (por orden de prioridad):

15. Gestión de bases de datos
16. Uso de SIG vectorial
17. Informática
18. Modelos digitales del terreno
19. Cartografía digital
20. Cartografía temática
21. Uso de SIG ráster
22. Programación de ordenadores
23. Topografía y GPS
24. Digitalización de datos
25. Ordenamiento del territorio
26. Organización de proyectos

CUADRO III

Unidades y Tópicos	Unidades y Tópicos
Introducción <ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿En que consisten los SIG? ▪ Mapas y sus análisis ▪ Introducción a informática ▪ SIG de tipo ráster ▪ Funcionalidad de los SIG ráster 	Bases de Datos Espaciales <ul style="list-style-type: none"> ▪ Conceptos fundamentales I ▪ Conceptos fundamentales II ▪ Precisión en bases de datos espaciales ▪ Satélites de observación de la Tierra.
Adquisición de Datos Georeferenciados <ul style="list-style-type: none"> ▪ Muestreo espacial ▪ Entrada de datos espaciales ▪ Datos socioeconómicos ▪ Datos relativos al ambiente y a recursos naturales ▪ Bases de datos espaciales ▪ Entidades georeferenciadas y modelos de bases de datos ▪ Relaciones entre entidades georeferenciadas 	Operaciones y Algoritmos Fundamentales <ul style="list-style-type: none"> ▪ Análisis de errores ▪ Fractales ▪ Generalización ▪ Visualización ▪ Color
Estructura y Formato de Datos Georeferenciados <ul style="list-style-type: none"> ▪ SIG de tipo vectorial ▪ Funcionalidad de los SIG vectoriales ▪ Relaciones entre entidades georeferenciadas ▪ Salida de datos georeferenciados ▪ Aspectos relativos a representaciones gráficas ▪ Interacciones entre SIG y sus utilizadores ▪ Generación de productos complejos ▪ SIG como archivo de datos georeferenciados ▪ La polémica 'SIG vectorial' <i>versus</i> 'SIG raster' ▪ La polémica 'objeto' <i>versus</i> 'plano' 	Aplicaciones de los SIG <ul style="list-style-type: none"> ▪ Dominios de aplicación de los SIG ▪ Monitoreo de recursos naturales ▪ Planeamiento urbano y ordenamiento territorial ▪ Catastro y cartografía del uso del suelo ▪ Gestión de redes urbanas ▪ Aplicaciones comerciales ▪ Sistemas de apoyo
Evolución de los SIG <ul style="list-style-type: none"> ▪ Historia de los SIG ▪ Mercado de los SIG ▪ Tendencias de evolución 	Evaluación de los SIG <ul style="list-style-type: none"> ▪ Aspectos organizacionales ▪ Estudios de funcionalidad ▪ Tests de operabilidad
Georeferenciación <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistemas de coordenadas ▪ Proyecciones cartográficas ▪ Transformaciones afines y curvilíneas ▪ Georeferenciación de datos discretos 	Establecimiento de un SIG <ul style="list-style-type: none"> ▪ Proyecto piloto ▪ Análisis de costes/beneficios ▪ Creación de una base de datos ▪ Implantación de un SIG ▪ Estrategias de implantación en grandes organizaciones
Registro de Datos Georeferenciados <ul style="list-style-type: none"> ▪ Registro de objetos complejos ▪ Registro eficiente de líneas (codificación de celdas) ▪ Registros 'ráster' ▪ Estructuras jerárquicas de datos ▪ Algoritmos <i>quadrees</i> y indexación espacial 	Normalización y Legislación <ul style="list-style-type: none"> ▪ Normas relativas a los SIG ▪ Aspectos legales ▪ Desarrollo de una política nacional sobre SIG ▪ SIG y las ciencias de la Tierra
Computación Gráfica <ul style="list-style-type: none"> ▪ Algoritmos básicos I: intersección de líneas ▪ Algoritmos básicos II: polígonos ▪ Superposición de polígonos 	Evolución de los SIG <ul style="list-style-type: none"> ▪ SIG y cognición de los espacios geográficos ▪ SIG y sistemas periciales ▪ Tendencias de desarrollo futuro
Interpolación y visualización de datos georeferenciados <ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelos digitales del terreno ▪ Modelos 'TIN' ▪ Interpolación espacial I ▪ Interpolación espacial II ▪ Representaciones tridimensionales y temporales 	

CUADRO IV

Grupos de Trabajo	Objetivos / actividades
WG VI/1 Educación	Bases de Datos Espaciales <ul style="list-style-type: none"> ▪ Identificación y promoción de oportunidades de educación y entrenamiento, de acuerdo con las necesidades regionales. ▪ Promoción y organización de materiales didácticos multimedia. ▪ Identificación de canales de cooperación internacional y formación técnica.
WG VI/2 Enseñanza Asistida por Ordenador	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recogida, análisis, divulgación y promoción de materiales didácticos, software y datos para enseñanza asistida por ordenador. ▪ Investigación sobre el uso de ordenadores en educación y entrenamiento.
WG VI/3 Cooperación Internacional y Transferencia de Tecnologías	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Incremento de relaciones entre organizaciones regionales y los grupos de trabajo de la ISPRS. ▪ Incremento de relaciones entre organizaciones regionales y los grupos de trabajo de la ISPRS. ▪ Intercambio con organizaciones internacionales, promoción y uso de la fotogrametría, detección remota y SIG. ▪ Difusión de actividades en los dominios más arriba indicados.
WG VI/4 Recursos de Internet y Reparto de Datos Espaciales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Promoción de normas y concepción de páginas en Internet. ▪ Identificación de fuentes de información sobre datos espaciales. ▪ Recomendaciones sobre normas relativas a datos espaciales y sobre reparto de datos.

27. Fotointerpretación y procesamiento de imágenes digitales

28. Uso del programa ARC/INFO

Principales tópicos a incluir en un curso de formación de postgrado (por orden de prioridad):

29. Análisis espacial con SIG vectorial
30. Modelos digitales del terreno
31. Procesamiento de imágenes digitales
32. Gestión de bases de datos
33. Análisis espacial con SIG raster
34. Fotointerpretación
35. Informática
36. Topografía y GPS
37. Uso del programa ARC/INFO
38. Programación de ordenadores
39. Cartografía automática
40. Ordenamiento del territorio
41. Organización de proyectos
42. Conocimientos de Geografía
43. Digitalización de datos

Los aspectos más sobresalientes que se pueden fácilmente detectar a partir de los datos de la encuesta realizada en Portugal son los siguientes:

- Existen relativamente pocos Master y Doctores en actividad profesional en los SIG, no llegando a los 6 % del personal total en actividad en ese sector. Este resultado justifica

el incremento de la formación superior en SIG en Portugal.

- El porcentaje de personal autodidacta y con formación de grado medio es elevado (42.5 %) lo que no se comprende en un sector con la complejidad técnica y el grado de evolución tecnológica rápida como es el caso de los SIG.
- Las principales lagunas detectadas por las empresas en la formación de su personal técnico en el área de los SIG corresponden perfectamente a las necesidades por ellas sentidas de formación complementaria y las prioridades indicadas en los tópicos a incluir en currícula de formación en el ámbito del postgrado. Esta indicación ayudará inmensamente en la definición de objetivos y en el establecimiento de currícula de formación en SIG, en el ámbito de postgrado, como se pretendía con la realización de la encuesta.

ANÁLISIS DE TENDENCIAS TECNOLÓGICAS

a) Sistemas Operativos y Sistemas Gestores de Bases de Datos

El desarrollo general de la informática, la disseminación de los microordenadores y el consecuen-

te perfeccionamiento de los sistemas operativos, posibilitaron el desarrollo de 'software' para múltiples aplicaciones con la característica esencial de fácil utilización. En el dominio de los SIG se observa hoy una tendencia para desarrollar aplicaciones en ambiente Windows NT, al contrario de algunos años atrás, en que el software disponible era escrito esencialmente para sistemas operativos UNIX. Esta evolución ha facilitado la divulgación de los SIG y permitió simplificar el uso de esa tecnología, tornándola más amigable. Entretanto, la excesiva facilidad puede llevar a una especie de amateurismo, donde 'curiosos de la informática' se erigen como *experts*, cuando en realidad poseen muy pocos conocimientos en dominios como la geografía, cartografía, detección remota, gestión de bases de datos, estadística, computación numérica y gráfica, etc.

La tecnología SIG, asociada a las excelentes capacidades gráficas del sistema operativo WINDOWS, así como la posibilidad de inserción de hipertexto, y con el complemento de otros paquetes de 'software', tales como el MICROSOFT OFFICE y otros, vino a permitir una mayor facilidad en el uso de la cartografía temática, permitiendo el dibujo de mapas con excelente apariencia gráfica y sin pérdida de rigor. La tecnología SIG ha evolucionado significativamente, teniendo hoy gran posibilidad de opciones, que, aparentemente, realizan más o menos las mismas funciones. Adaptada al sistema operativo Windows, su utilización se tornó más versátil, asistiendo a una explosiva divulgación de los SIG y a que incontables instituciones las apliquen para los más diversos fines.

Otro aspecto importante es la posibilidad de asociación con la tecnología de los sistemas gestores de bases de datos relacionales, de fácil delineamiento y manipulación. Paquetes de 'software' para SIG que antes apenas funcionaban en asociación con sistemas gestores de bases de datos de tipo ORACLE, SYBASE, INFORMIX, etc..., permiten hoy la opción del Access para Windows, bien directamente, bien vía ODBC. Para trabajos más vastos y con gran volumen de información alfanumérica, la opción de sistemas gestores de bases de datos más poderosos continúa siempre abierta. La evolución reciente en este dominio nos lleva a creer que el próximo paso del desarrollo tecnológico sea la simplificación en el delineamiento y gestión de sistemas de bases de datos, con flexibilidad y capacidad crecientes. Por consiguiente, existen disponibles diversas alternativas, apropiadas a la complejidad y dimensión de cada proyecto SIG.

b) Detección Remota y SIG

Más del 80% del tiempo dedicado al establecimiento de un SIG se invierte en la adquisición de

datos, tarea en la que la Detección Remota (DR) puede prestar gran servicio. Se verifica aquí, una vez más, una tendencia hacia la simplificación. Se han desarrollado un variado conjunto de paquetes de 'software' para DR, asociado a las mejoras verificadas en la tecnología de los 'scanners'. Es actualmente posible convertir imágenes analógicas provenientes de DR en imágenes con formato digital, mediante 'scanners' de elevada resolución y realizar su posterior ortorectificación, a través del 'software' apropiado.

La utilización de imágenes de los satélites SPOT y LANDSAT tuvo su apogeo hace 5 años, pero en este momento está decreciendo, visto que su resolución espacial no es suficiente para la mayoría de los estudios de vegetación, especialmente en pequeñas áreas de las zonas templadas, donde el uso del suelo es muy diversificado y articulado. También en regiones del globo con clima tropical y subtropical, donde existen extensas áreas de monocultivo, como es el caso de Brasil, y en donde la utilización de aquellos sensores fue inicialmente hecha con gran expectación, siguió alguna desilusión. Por eso, mientras no estén disponibles imágenes digitales de elevada resolución espacial (1 a 3 metros), la utilización de las imágenes digitales provenientes de los satélites de observación de la Tierra no será muy frecuente, a pesar de las promesas de esta tecnología. Se asiste, por eso, a una vuelta a las tecnologías tradicionales de la fotografía aérea vertical o oblicua, para estudios locales o regionales de pequeña y media extensión geográfica. Por otro lado, el elevado coste de adquisición de fotografía aérea vertical de gran formato ha conducido a la utilización de fotografía aérea de pequeño y medio formato y aún a la aplicación de cámaras digitales de gran resolución espacial para obtención de imágenes en color o de infrarrojo color. Otras tecnologías alternativas para adquisición de datos espaciales, con creciente utilización, son la videografía digital y las imágenes de RADAR.

ANÁLISIS DE TENDENCIAS DE INVESTIGACIÓN

El análisis de las tendencias de investigación es una necesidad permanente en instituciones de Enseñanza Superior, dado que los 'currícula' ahí desarrollados deberán proveer formandos con conocimientos científicos y familiarizarlos con técnicas que tengan un razonable horizonte de actualidad y un vasto ámbito de aplicabilidad. Ese análisis puede realizarse desde el conocimiento

de los temas de tesis de Master o de Doctorado, presentadas en las principales Universidades y Institutos de Investigación, de artículos de revisión contenidos en las publicaciones especializadas, o revisando los índices anuales de esas revistas, o aún a través de los sumarios de comunicaciones presentadas en Congresos o Simposios de la especialidad.

En el cuadro V se presentan las frecuencias de temas de tesis de Master en SIG, aprobadas en 1998, en el *ITC-International Institute for Aerospace and Earth Sciences*, una importante institución dedicada a la enseñanza e investigación en las áreas de Aerofotogrametría, Detección Remota y SIG. Aún se indican en el mismo cuadro los temas de artículos publicados, en el período de 1990-98, en la revista especializada *ITC Journal*. Los datos contenidos en ese cuadro revelan algunas tendencias actuales en cuanto a los dominios de investigación y las áreas de aplicación de los SIG. Debe notarse que los temas de tesis de Master son frecuentemente seleccionados de acuerdo con las necesidades socioeconómicas de los países de sus autores y que los alumnos de Master del ITC son en gran mayoría provenientes de países asiáticos, africanos o iberoamericanos. La frecuencia de los te-

mas de las tesis de Master en el ITC dan por tanto preciosa información sobre las necesidades de investigación relacionadas con las aplicaciones de SIG más importantes para aquellos países.

Otra fuente importante para análisis y acompañamiento de las tendencias de investigación son los informes de las Comisiones de *ISPRS-International Society of Photogrammetry and Remote Sensing*, presentados en Simpósios o Congresos de esa organización internacional. Los ámbitos y planes de actividad de las diversas Comisiones especializadas de esa organización dan preciosas informaciones sobre las tendencias de investigación en sus respectivos dominios. Referiremos especialmente los grupos de trabajo, áreas de investigación y actividades de la Comisión II- 'Sistemas para Procesamiento, Análisis y Representación de Datos', de extrema importancia para el desarrollo futuro de las aplicaciones en SIG (ver cuadro VI).

Una organización internacional importante en el dominio de la Detección Remota es la *EARSel-European Association of Remote Sensing Laboratories*, constituida por una red de instituciones dedicadas a la investigación aplicada en ese área, fundada bajo los auspicios del *Consejo Euro-*

Cuadro V

TEMAS	Tesis de maestrado	ITC Journal
	ITC, 1998 (1)	1990-98
Geomorfología; Geotécnica; Geología; Minería	22	38
Monitoreo Ambiental y Geofísica	20	37
Hidrología	14	9
Cartografía de Suelos	7	7
Inventario Forestal	8	6
Monitoreo de Recursos Naturales	5	20
Planeamiento Urbano	13	15
Levantamientos Catastrales	9	9
Inventarios Agrícolas	16	1
Ecología	9	6
Implantación de SIG	18	40
Detección Remota	-	40
Aerofotogrametría	-	19
GPS	-	1
Cartografía	-	36

peo, de la Comisión Europea y de la ESA— European Space Agency. Esa organización posee varios grupos de trabajo, entre los cuales un grupo se dedica a Educación y Entrenamiento (EARSel, 1999).

CONCLUSIONES

La consulta de las fuentes de información antes referidas, la ponderación de los diversos aspectos mas arriba mencionados y su propia experiencia personal permiten a los autores presentar la siguiente propuesta de currículum genérico para formación superior en SIG, al nivel de postgrado. Ese currículum es diseñado para una duración mínima de 3 semestres lectivos, seguidos de prácticas, con la duración mínima de un semestre, en un Centro o Laboratorio de SIG, para desarrollo de aplicaciones y contacto con la realidad profesional. Nos dirigimos a un grupo formado por las tres últimas categorías definidas en el epígrafe 2 'Analista de SIG', 'Investigador de SIG' o 'Formador en SIG'. Los objetivos y el desarrollo del currículum propuesto dependerán seguramente de los factores referidos en el epígrafe 4. Creen los autores que este currículum, con las reservas de las adaptaciones necesarias, sería adecuado a la práctica de desarrollo educacional y socioeconómico de Portugal durante los próximos años.

REFERENCIAS

Aranha, J. (1999) • Comunicación personal • UTAD, Vila Real.

Barry, M.; Butcher, S. (1998) • Implementation of GIS at The University of Cape Town: a model for terciary education institutions • ITC Journal, 1998-3/4, pp. 191-197.

Castro, J.P. Miranda de (1999) • Comunicación personal • ESAB, Bragança.
EARSel (1999) • European Association of Remote Sensing Laboratories • <http://www-earsel.cma.fr/>

ISPRS Commission VI (1996) • Commission VI: Education and Communications

Meneguette, A., 1999 • Courseware en Ciencias Cartográficas, FCT/UNESP – Campus de Presidente Prudente, Brasil • http://www.prudente.unesp.br/dcartog/arlete/hp_arlete/courseware/course.htm#icm

NCGIA (1999) • NCGIA Technical Core Curriculum: Table of Contents • <http://www.ncgia.ucsb.edu/education/curricula/cctp/Welcome.html>

Sarkozy, F. (1994) • Experiences In Gis Education At The Department Of Surveying, Technical University Budapest • Department of Surveying, Technical University, Budapest. H-1111 Budapest, Muegytem, rakpart 3, Hungary

UN (1996) • United Nations Training Course: Report on the Sixth UN International Training Course on Remote Sensing Education for Educators • Stocholm and Kiruna, Sweden, 6May-15 June, 1996 • <http://www.un.et/OOSA/sup/swe/swe961.html>.

Cuadro VI: Isprs – Comisión II, sistemas para procesamiento, análisis y representación de datos

Grupos de trabajo	Areas de Investigación	Actividades
WG II/1 Tecnologías para Cartografía en Tiempo Real	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Concepción y desarrollo de sistemas para cartografía en tiempo real. ▪ Concepción de sistemas digitales integrados para cartografía de infraestructuras urbanas en tiempo real, principalmente de tipo móvil. ▪ Sensores y procesamiento de datos para sistemas autónomos de navegación. ▪ Papel de los sistemas de visión estereoscópica y de la tecnología GPS en sistemas integrados para cartografía en tiempo real. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Levantamientos terrestres con imágenes vídeo, vehículos terrestres y posicionamiento por GPS. ▪ Orientación externa de fotografías aéreas, usando GPS, sistemas inerciales, o combinaciones de los dos sistemas. ▪ Integración de sistemas de visualización y de posicionamiento, principalmente para navegación automática de navíos, controlada por sistemas de RADAR y de LASER, combinados con mapas digitales del área de navegación.
WG II/2 Hardware y Software para SIG	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Computación y operación de sistemas integrados de SIG y procesamiento de imágenes. ▪ Modelación de sistemas ▪ Integración de sistemas compuestos por estaciones de trabajo, grandes ordenadores y microordenadores personales. ▪ Procesadores paralelos, vectoriales, superordenadores y sistemas ópticos híbridos para mejora de SIG. ▪ Sistemas para SIG-3D. ▪ Tecnologías multimedia y SIG. ▪ Hardware/software para input/output en SIG. ▪ Normas para SIG, interfaces gráficos, redes y bases de datos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Integración de SIG, Fotogrametría Digital, Cartografía Digital, Detección Remota y Ciencias de reales a través de SIG. la Computación. ▪ Tecnologías 3D y de realidad virtual en SIG
WG II/3 Tecnologías para Grandes Volúmenes de Datos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Composición y transmisión de formatos 'ráster'. ▪ Formato vectorial y modelos topológicos. ▪ Modelos espaciales. ▪ Sistemas gestores de bases de datos espaciales en ambientes heterogéneos. ▪ Registro de gran volumen de datos. ▪ Subsistemas para I/O con elevados desempeños. ▪ Fractales. ▪ Cambio de datos entre ambientes heterogéneos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proyecto Delta-X para cambio y distribución de datos entre utilizadores de diferentes sistemas SIG en red.
WG II/4 Procesamiento de Datos de RADAR	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Metodológicas para procesamiento, análisis y interpretación de imágenes SAR. ▪ Validación de las aplicaciones de imágenes adquiridas por diversos sensores espaciales. ▪ Evaluación de técnicas de interferometría SAR para determinación del levantamiento. ▪ Evaluación de algoritmos para análisis de imágenes SAR. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Aplicaciones de imágenes SAR, ERS-1 y JERS-1 en cartografía de hielos, bosques, dunas y topografía.
WG II/5 Sistemas Integrados	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desarrollo de sistemas totalmente digitales e infraestructuras para bases de datos heterogéneas. ▪ Normas y metodológicas para comunicación de datos en sistemas integrados 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistemas integrados.
WG II/6 Sistemas de Fotogrametría Digital	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Estaciones fotogramétricas digitales. ▪ Computación con sistemas para procesamiento paralelo y distribuido. ▪ Visualización, estereoscopia y animación temporal y espacial. ▪ Técnicas multimedia. ▪ Integración de técnicas y modelos fotogramétricos en sistemas de visión computacional, para análisis de imágenes de detección remota. 	

Cuadro VII. Propuesta de currículum para formación superior en sig

Unidades y Tópicos	Unidades y Tópicos
Introducción <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistemas de información ▪ Evolución histórica de los SIG ▪ Tipos de SIG 	Análisis de datos espaciales: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Interpolación espacial ▪ Modelos digitales del terreno ▪ Ortofotomapas ▪ Visualización tridimensional ▪ Estadística espacial
Estructura de datos espaciales: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Formato vectorial ▪ Formato ráster ▪ Datos socioeconómicos 	Aplicaciones de los SIG: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Monitoreo ambiental ▪ Fractales ▪ Inventario, ordenamiento y gestión forestal ▪ Catastro urbano y rural ▪ Análisis de redes ▪ Inventario de recursos naturales
Adquisición de datos espaciales: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Levantamientos topográficos y GPS ▪ Fotointerpretación ▪ Aerofotogrametría ▪ Fotogrametría analítica y digital ▪ Videografía ▪ Detección remota por satélites 	Tendencias de evolución futura: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Integración de detección remota y SIG ▪ Sistemas multimedia y SIG ▪ Sistemas periciales y SIG ▪ SIG dinámicos ▪ Actualización de SIG en tiempo real
Entrada de datos: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Digitalización de mapas ▪ Rasterización de fotografías ▪ Fotografía digital 	Implantación de SIG: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Especificaciones ▪ Proyecto ▪ Evaluación ▪ Renovación y actualización ▪ Aspectos organizacionales, de gestión y legales
Bases de datos relacionales: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Estructura ▪ Operación ▪ Proyecto 	Educación y Entrenamiento: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Definición de currícula
Procesamiento de imágenes: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Tipos de imágenes digitales ▪ Algoritmos de clasificación ▪ Filtrado ▪ Restitución 	SIG en las Organizaciones: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Centros de investigación ▪ Empresas ▪ Organizaciones públicas y autónomas ▪ Asociaciones profesionales ▪ Organizaciones internacionales
Análisis de errores: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Errores de clasificación ▪ Errores geométricos 	Fuentes de Información Geográfica: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Cartotecas y fototecas ▪ Bancos de imágenes digitales ▪ Internet
Cartografía: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistemas de coordenadas ▪ Sistemas de proyección ▪ Computación gráfica ▪ Dibujo cartográfico 	Prácticas profesionales: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Desarrollo y ejecución de proyectos